

# La stabilità biologica del compost: indice di respirazione come parametro di processo

F. Adani<sup>1,2</sup>

1 Dipartimento di Produzione Vegetale – Università degli Studi di Milano, Via Celoria 2, 20133 Milano.

2 Comitato Scientifico Centro Ricerche Nazionale Biomasse, via S. Lucia, 20, 80132 Napoli.

fabrizio.adani@unimi.it.

## Riassunto

La misura della stabilità biologica ha assunto ormai importanza fondamentale nella gestione dei processi biologici alla base della trasformazione dei rifiuti a matrice organica e per la qualificazione dei prodotti ottenuti, divenendo ormai strumento di controllo ma, soprattutto, indispensabile mezzo per la corretta gestione del processo. Il grado di stabilità biologica da informazioni sulla biomassa circa: la qualità dei prodotti ottenuti, il grado di autoriscaldamento (self-heating), la potenzialità a produrre odori, biogas e lisciviati inquinanti, la fitotossicità potenziale, la presenza di patogeni, la sua predisposizione ad esserne re-invasa da patogeni e le proprietà patogeno repressive dei substrati.

Per stabilità biologica dobbiamo intendere la misura del grado di decomposizione della sostanza organica facilmente degradabile contenuta in una matrice organica. Un metodo atto a tale misura deve essere in grado di esplicitare il grado di decomposizione della sostanza organica su una riconosciuta scala di valori. In tal senso, i metodi respirometrici sono ormai universalmente accettati ed affidabili. E' per tale motivo che sempre più si fa riferimento, anche in termini legislativi, al parametro "stabilità biologica", ed in particolare all'Indice di Respirazione Dinamico, per la definizione della qualità di matrici organiche ottenute d

La stretta corrispondenza tra misura delle stabilità biologica in condizioni ottimali e processo biologico è alla base della efficacia dell'utilizzo di metodi respirometrici ed in particolare della respirometria dinamica.

**Parole chiave:** compost; indice respirometrico dinamico; stabilità biologica; processo di compostaggio

---

## Abstract

Composting is used in solid waste management in order to convert organic waste into agriculturally useful products, i.e., compost. Compost can be defined as a stable, mature and humified material. Terms such as stability, maturity and humification are well known in composting science and have been defined by the author in the past.

Biological stability indicates the extent to which readily biodegradable organic matter has decomposed. The importance of knowledge concerning the degree of biological stability of a compost is recognised because it affects the potential for odor generation, biomass re-heating, residual biogas production, re-growth of pathogens, phytotoxicity, plant disease suppression ability, and process parameters such as airflow rate and retention time.

From the many methods that have been proposed in the past, the respirometric test is recognized as being the best method to measure biological stability.

Adani *et al.*, (2001) proposed a new respirometric test to assess biological stability, i.e., the Dynamic Respiration Index. This method was proposed because of its advantages compared to others which are: i) the presence of continuous airflow rate during measurement (i.e., dynamic condition) does not limit oxygen transfer through the biomass layer and into the bacterial cell; ii) the ability to work on large masses (up to 13 kg) allows the use of full-scale particle size (up to 50 mm), therefore safeguarding the representativeness of the samples and avoiding the very complicated biomass size reduction or biomass sieving, as is particularly the case for wet samples; and iii) the dynamic condition adopted together with an optimal and standardized O<sub>2</sub> concentration in the biomass free air space allows measurement of the airflow rate required to degrade waste under optimal conditions.

**Key words:** Compost; respirometric index; biological stability; composting process.

---

## Introduzione

La misura della stabilità biologica ha assunto ormai importanza fondamentale nella gestione dei processi biologici alla base della trasformazione dei rifiuti a matrice organica e per la qualificazione dei prodotti ottenuti, divenendo ormai strumento di controllo ma, soprattutto, indispensabile mezzo per la corretta gestione del processo. Il grado di stabilità biologica da informazioni sulla biomassa circa: il grado di autoriscaldamento (self-heating), la potenzialità a produrre odori, biogas e lisciviati inquinanti, la fitotossicità potenziale, la presenza di patogeni, la sua predisposizione ad esserne re-invasa da patogeni e le proprietà patogeno repressive dei substrati.

Per stabilità biologica dobbiamo intendere la

misura del grado di decomposizione della sostanza organica facilmente degradabile contenuta in una matrice organica (Lasaridi and Stentiford, 1996). Un metodo atto a tale misura deve essere in grado di esplicitare il grado di decomposizione della sostanza organica su una riconosciuta scala di valori (Lasaridi and Stentiford, 1996). In tal senso, i metodi respirometrici sono ormai universalmente accettati ed affidabili (The U.S. Composting Council, 1997; ASTM, 1996; Regione Lombardia, 2003; UNI, 2006). E' per tale motivo che sempre più si fa riferimento, anche in termini legislativi, al parametro "stabilità biologica" ed in particolare all'Indice di Respirazione Dinamico, per la definizione della qualità di matrici organiche ottenute dai processi di biotrasformazione (Tabella 1).

**Tabella 1.** Testi normativi relativi ai processi di compostaggio/biostabilizzazione ed alla messa in discarica dei rifiuti urbani residui che contemplano l'uso dell'IRD (Ubbiali e Adani, 2006, aggiornata).

**Table 1.** National and international rules reporting the use of the DRI

Ente	Documento
Unione Europea	Biological Treatment of biowaste 2nd draft DG ENV.A.2/LM/biowaste/2nd draft
Regione Lombardia	Linee guida alla costruzione e all'esercizio degli impianti di produzione di compost BURL - I supplemento straordinario 13 Maggio 2003
Regione Sicilia	Linee guida per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di compostaggio GURS I parte Supplemento Ordinario N°27 14 Giugno 2002
Regione Basilicata	Linee Guida per la progettazione, la costruzione e la gestione degli impianti di compostaggio e di stabilizzazione BURB I Parte N° 32 08 Maggio 2002
Regione Puglia	Decreto del Commissario delegato emergenza ambientale 30.09.2002, n. 296. Decreto Commissariale 63.2001, n. 41 Piano di gestione dei Rifiuti e di bonifica delle Aree inquinate. Completamento, integrazione e modificazione. - BUR Puglia n. 135 del 23.10.2002
Regione Veneto	Norme tecniche ed indirizzi operativi per la realizzazione e la conduzione degli impianti di recupero e di trattamento delle frazioni organiche dei rifiuti urbani ed altre matrici organiche mediante compostaggio, biostabilizzazione e digestione anaerobica. Osservatorio regionale per il compostaggio modifiche alla direttiva tecnica regionale n. 766 del 10.03 2000 Bozza del 10.06.2004
Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Provincie Autonome	Documento interregionale per la predisposizione entro il 24 Marzo 2004 del programma di riduzione dei rifiuti biodegradabili da smaltire in discarica ai sensi dell'art. 5 del D. lgs N°36/03
Regione Lombardia	Integrazione della d.g.r. N° 16983 del 31 Marzo 2004: Programma regionale per la riduzione del rifiuto urbano biodegradabile da collocare in discarica. II Supplemento Straordinario 4 Giugno 2004
Regione Puglia	Piano di riduzione del conferimento in discarica dei rifiuti urbani biodegradabili in Puglia ex. Art. 5 D. lgs N° 36/2003. Integrazione e pianificazione regionale. BURP N° 43 - 08 Aprile 2004
Regione Campania	Criteri e linee guida per l'utilizzo della frazione organica stabilizzata Comitato tecnico ex Ordinanza Commissariale N° 058/2002
Regione Sardegna	Programma della Regione Sardegna per la riduzione dei rifiuti biodegradabili da collocare in discarica- integrazione del piano regionale di gestione dei rifiuti- art. 5 comma 1 D. Lgs. 36/03.
Regione Basilicata	Programma di riduzione dei rifiuti da smaltire in discarica
UNI	Determinazione della Stabilità Biologica di Rifiuti e Compost mediante l'Indice di Respirazione Dinamico (Metodo Di.Pro.Ve.) UNI/ST 11182
prEN prCEN/TS 15590	Solid recovered fuels: Determination of current rate of potential microbial self-heating using the real dynamic respiration index: CEN/TC 343 (approved)

**Tabella 2.** Coefficienti di variazione percentuale della riproducibilità e della ripetibilità per i parametri analizzati (N = 6 laboratori) (Adani e Scaglia, 2004).

**Table 2.** Variation coefficients of reproducibility and repetibility (Adani e Scaglia, 2004)

IRD (mg O <sub>2</sub> kg SV <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	Coefficiente di variazione della ripetibilità (%)	Coefficiente di variazione della riproducibilità (%)
IRD = 2409	11.77	30.13
IRD = 508	9.64	11.8
IRD = 2438	4.33	3.63

Recentemente è stato proposto un metodo respirometrico definito “dinamico” che raccoglie in sé alcuni pregi tali da renderlo affidabile, pratico ed in grado di descrivere i processi biologici aerobici allo stato solido (es. compostaggio, biostabilizzazione e bioessiccamento) (Adani *et al.*, 2004). La metodologia suggerita ha trovato ormai ampia applicazione e si contano circa 25 laboratori equipaggiati in tal senso, distribuiti sul territorio nazionale e non. Importanza maggiore assume il fatto che laboratori di chiara fama scientifica, quali l’ISS e l’ARPAV, siano stati tra i primi ad adottare tale nuova metodologia, accumulando nel corso di un biennio, conoscenze scientifiche, tecniche, nonché esperienza in termini di campioni analizzati. A ciò va aggiunto il sempre maggior interesse di altre nazioni (Regno Unito e Spagna) verso sistemi di misura della stabilità biologica analoghi a quello proposto in Italia, tanto da divenire parametri di riferimento legislativo.

### IRD: le basi teoriche

Un biologico aerobico viene correttamente descritto per mezzo del consumo di ossigeno, identificando la seguente relazione semplificata:

$$OUR(t) = \sqrt{\frac{\beta_{eff}}{\beta_{eff} + e^{-\mu_{eff} \cdot t}}} OUR_{i\max} e^{-\zeta} + A_h \quad (1)$$

in cui

$A_h$ : attività idrolitica semplificata;

$\beta_{eff}$ : concentrazione adimensionale della biomassa iniziale effettiva;

$\mu_{eff}$ : massima rata di crescita microbica (h<sup>-1</sup>);

$OUR_{i\max}$ : massima domanda di ossigeno;

$t$ : tempo

$\zeta$ : dimensione scalare della particella.

Essendo la misura dell’Indice di Respirazione Dinamico (IRD) una misura diretta del consumo di ossigeno di una biomassa in condizioni reali ed ottimali, la medesima equazione può essere utilizzata per descrivere l’andamento dell’IRD durante un processo

biologico, come meglio esemplificato nella figura 1. Ciò significa sostituire al parametro OUR nell’equazione 1, il parametro IRD (eq.2).

$$DRI(t) = \sqrt{\frac{\beta_{eff}}{\beta_{eff} + e^{-\mu_{eff} \cdot t}}} DRI_{i\max} e^{-\zeta} + A_h \quad (2)$$

Partendo da quanto sopra osservato, vedremo che la completa corrispondenza tra la misura dell’IRD e le basi chimico e biologiche dei processi di trasformazione biologica allo stato solido, consente di utilizzare l’IRD quale parametro di controllo di processo, ma anche, quale misura dei diversi impatti che l’utilizzo di una biomassa, sia essa compost, biostabilizzato o bioessiccato, inevitabilmente comporta. Infatti, tutti i potenziali impatti di una matrice organica: produzione di biogas, di lisciviati organici, di odori, di attrattività per animali, di autocombustione etc., sono frutto di attività biologiche la cui entità dipende dal contenuto in frazioni organiche prontamente disponibili, che può essere correttamente descritta dall’uso dell’IRD.

Nel prosieguo della presente relazione, dimostreremo come l’IRD è in grado di descrivere e misurare ognuno degli impatti potenziali prima indicati, divenendo un potente mezzo per la loro misura.

### L’IRD e riproducibilità del metodo: deviazione standard della ripetibilità ( $s_r$ ) e riproducibilità ( $S_r$ )

La validazione di un metodo è definita come il processo secondo il quale la rilevanza e l’applicabilità di un metodo sono stabiliti. Una procedura standardizzata per la validazione di un metodo è stata proposta da organismi internazionali (ISO, 1994).

L’applicazione corretta di tali procedure consente di trarre un giudizio circa la metodologia analitica proposta. In tal senso, semplici ring-test, che non tengono conto di tali procedure e non sono condotte da organismi scientifici di riconosciuta capacità, non dovrebbero essere presi in considerazione se non allo scopo di assicurare che i laboratori che operano lo facciano cor-

rettamente. In tale ottica si può affermare che l'applicazione di un metodo passa attraverso 4 steps:

1. messa a punto del metodo e suo riconoscimento scientifico a livello internazionale (pubblicazione su riviste *peer review*);
2. validazione del metodo mediante procedure standardizzate (es. ISO, 1994);
3. riconoscimento del metodo da organismi di standardizzazione Nazionali e/o Internazionali;
4. divulgazione del metodo e training dei laboratori.

Il punto 1 è ormai da molti anni assodato tanto che oramai numerose sono le pubblicazioni, non solo dello scrivente, che trattano l'argomento in modo completo ed esaustivo. Il punto 2 è ad uno stadio avanzato di esecuzione e di questo si parlerà di seguito; circa il punto 3 sono ormai molti i riconoscimenti sia per mezzo di atti legislativi regionali sia di organi di standardizzazione nazionali (UNI/TS 11184) ed internazionali (prCEN/TS 15590) (Tabella 1). Circa il punto 4, sono più di 40 gli strumenti presenti in diversi laboratori d'Italia e d'Europa. Meno si sa circa l'effettiva capacità degli stessi laboratori di condurre l'analisi in modo corretto: è su tale punto che bisognerebbe insistere, indirizzando risorse, soprattutto da parte degli organi deputati al controllo e delle associazioni di produttori. In tale ottica, e con riferimento all'IRD, bisognerebbe preoccuparsi non tanto della validità del metodo, ormai assodata, ma della capacità dei laboratori di fornire dati affidabili.

Il metodo di determinazione dell'IRD è divenuto oramai Specifica Tecnica UNI (UNI-TS 11184) e da circa due anni, il DiProVe, in collaborazione con altri laboratori, è promotore di un lavoro di validazione dell'IRD che si completerà entro il 2007 (Adani e Scaglia, 2004). La validazione è effettuata a norma ISO (ISO, 1994) ed i primi risultati sono riportati in Tabella 2.

In breve, la validazione di un metodo biologico consiste nella determinazione dei valori di ripetibilità e riproducibilità, identificabili come la massima differenza accettabile tra due misure eseguite consecutivamente da uno stesso laboratorio (ripetibilità,  $r$ ) o da due differenti laboratori (riproducibilità,  $R$ ). I parametri statistici da ricercare sono la misura della deviazione standard della ripetibilità ( $s_r$ )

$$s_r = \sqrt{s_r^2} \quad (1)$$

dove

$$s_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^p (n_i - 1) \cdot s_i^2}{\sum_{i=1}^p (n_i - 1)} \quad (2)$$

dove  $p$  è il numero di laboratori,  $n_i$  è il numero di prove sperimentali per ciascun laboratorio  $i$ , e  $s_i$  è la varianza calcolata per ciascun laboratorio  $i$ .

e della riproducibilità ( $s_R$ ):

$$s_r = \sqrt{s_r^2} \quad (3)$$

dove

$$s_R^2 = s_L^2 + s_r^2 \quad (4)$$

in cui  $s_L^2$  è la varianza tra laboratori (5) e  $s_r^2$  (2) è la varianza della ripetibilità.

La varianza tra laboratori è uguale a

$$s_L^2 = \frac{s_d^2 - s_r^2}{n} \quad (5)$$

in cui

$$s_d^2 = \frac{1}{1-p} \left[ \sum_{i=1}^p n_i (\bar{y}_i)^2 - (\bar{y})^2 \sum_{i=1}^p n_i \right] \quad (6)$$

dove  $\bar{y}$  è il valore medio delle  $n_i$  prove sperimentali ( $y$ ) fatte da ogni laboratorio *i.e.*  $\bar{y}$  è la loro grande media (7).

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^p n_i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^p (n_i - 1)} \quad (7)$$

I valori di  $r$  e  $R$  espressi come variazioni percentuali, sono molto contenuti soprattutto se si considera la natura biologica del metodo che, in genere, si contraddistingue per l'elevata variabilità.

Vi è da concludere, quindi, l'ottima affidabilità del metodo di misura dell'IRD.

In futuro, sarà importante operare una campagna per la corretta applicazione del metodo, così come avviene per qualsiasi nuova metodologia analitica proposta.

### L'IRD nel controllo dei processi di biostabilizzazione e compostaggio in impianti di scala reale

I processi di trattamento dei rifiuti che ordinariamente sono condotti in impianti di biostabilizzazione e compostaggio necessitano di un frequente loro

monitoraggio per verificare l'eventuale presenza di problemi di processo.

Diverse possono però essere le cause del cattivo andamento del processo (Ubbiali e Adani, 2005):

- insufficiente portata d'aria, e quindi carenza di ossigeno con creazione di condizioni semi-anaerobiche;
- insufficiente manutenzione e pulizia delle condotte di insufflazione dell'aria;
- errata preparazione della miscela (l'eccessiva densità della biomassa può limitare anche notevolmente la - diffusione dell'aria e quindi dell'ossigeno);
- eccessiva altezza dei cumuli (l'innalzamento oltre certi limiti dell'altezza del cumulo porta al compattamento del materiale oltre che ad una eccessiva perdita di carico dell'insufflazione dell'aria);
- il non corretto umettamento della biomassa durante il trattamento (a livelli di umidità troppo bassi i processi degradativi rallentano o addirittura si bloccano).

La determinazione della stabilità biologica nei vari stadi di trattamento permette di monitorare l'andamento del processo e rilevare le problematiche eventualmente presenti, a carico del sistema di trattamento stesso. In particolare, la corretta quantità d'aria fornita alla biomassa oltre a garantire il corretto svolgimento delle degradazioni ossidative, consente di contenere al minimo le emissioni odorigene incremen-

tate dall'instaurarsi di condizioni semi-anaerobiche.

In questo contesto l'IRD, oltre ad essere ormai un parametro prescrittivo in sede di autorizzazione degli impianti di trattamento biologico dei rifiuti, è un valido aiuto per meglio gestire il processo di trattamento aerobico.

In genere, nel corso dei processi di bio-trasformazione condotti in condizioni ottimali, si osserva una diminuzione sostanziale della "fermentescibilità" dei rifiuti fino al raggiungimento di discreti gradi di stabilità biologica ( $IRD < 1000 \text{ mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) già dopo la fase attiva del processo (15-30 giorni) (Tabella 3).

In condizioni sub-ottimali di gestione del processo tale risultato è difficilmente raggiungibile con conseguente danno economico (richiesta di trattamento supplementare) o, peggio, produzione di prodotti ad elevato impatto ambientale (Tabella 3).

Naturalmente, la cattiva gestione delle prime fasi del processo si riflette direttamente anche sulla fase di maturazione (Tabella 3). Infatti, se la biomassa alla fine della fase attiva non è correttamente e sufficientemente stabilizzata, la successiva fase di maturazione, tipicamente condotta in condizioni semplificate risulterà ancor più inefficace per il raggiungimento degli obiettivi posti (es. compost maturo). In questo contesto, il compost raffinato che ne deriverà, sarà verosimilmente poco stabile (elevati IRD), maleodorante e probabilmente fitotossico, con riflessi negativi anche sull'igiene pubblica (presenza di patogeni).

**Tabella 3.** IRD misurato in processi di bio-trasformazione (Ubbiali e Adani, 2005, riadattata).

**Table 3.** DRI measure for different biological processes

		pH	IRD ( $\text{mg O}_2 \text{ kg SV}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )
Matrice organica non trattata		$5.75 \pm 1.25^*$	$3588 \pm 1077$
Processo condotto in condizioni ottimali	Dopo fase attiva (30 dd)	$8.03 \pm 0.43$	$1000 \pm 211$
	Dopo fase di curing (90 dd)	$8.49 \pm 0.22$	$446 \pm 196$
Processo condotto in condizioni non ottimali	Dopo fase attiva (30 dd)	$6.66 \pm 0.89$	$3134 \pm 759$
	Dopo fase di curing (90 dd)	$6.45 \pm 0.84$	$2983 \pm 635$

\*Medie calcolate sulla base del monitoraggio di 23 processi

**Tabella 4.** Valori di potenziale self-heating (current rate of aerobic microbial activity) per un combustibile derivato dai rifiuti (da Adani e Scaglia, 2006; Working document CEN/TC 343 N. 146).

**Table 4.** Potential self-heating values expressed as DRI

RDRI $\text{mg O}_2 \text{ kg TS}^{-1} \text{ h}^{-1}$	Current rate of aerobic microbial activity
< 500	very low
500 - 1000	low
1000 - 2000	moderately high
2000	high
> 3000	very high

Un controllo più attento dei parametri di processo, permette di gestire al meglio il processo di trattamento. A tal fine il corretto monitoraggio dell'IRD permette di capire se stiamo operando correttamente o meno.

Essendo l'IRD una misura dell'attività biologica ed essendo le reazioni biologiche aerobiche esoterme, la caratteristica principale di un processo aerobico, è la produzione di calore. In tale ambito, la misura dell'IRD così come proposto dalla metodica UNI/TS 11184, offre l'opportunità di misurare un altro importante parametro strettamente correlato al processo biologico: la temperatura (Figura 2).

La conoscenza delle proprietà di self-heating (autoriscaldamento delle biomassa) di una biomassa trova applicazione soprattutto nella prevenzione dei fenomeni d'autocombustione dei rifiuti durante il loro stoccaggio o trasporto; infatti, l'attività biologica aerobica funge da innesco delle reazioni d'autocombustione come ben esemplificato in Figura 3.

In tale contesto, il metodo di determinazione dell'IRD è in fase di accoglimento quale metodo europeo per la misura del "potenziale self-heating" di rifiuti derivati da combustibili ((prCEN/TS 15590) (Tabella 4).

Un'altra applicazione dell'IRD, è la stima della portata d'aria potenziale per il corretto svolgimento di un processo aerobico, come esemplificato nella Figura 4.

La produzione di odori dipende dall'attività biologica. E' evidente che maggiore è il contenuto di frazioni organiche prontamente degradabili maggiore potrà essere la produzione di odori. Essendo l'IRD una misura del contenuto di frazioni prontamente degradabili ecco che lo stesso parametro potrà essere utilizzato quale indice di produzione potenziale di odori. In tal senso è evidente che la produzione di odori sarà maggiore per biomasse caratterizzate da IRD superiori (bassa stabilità biologica) e viceversa. In tal senso, interessante appare la stretta relazione ottenuta tra l'IRD e la misura di odore per mezzo di Unità odorimetriche (OU). Interessante è notare che la relazione che lega i due parametri è di tipo esponenziale e che quindi il raggiungimento di valori elevati di stabilità biologica (bassi IRD) si traduce in una forte riduzione di presenza di odori (Figura 5). Nell'intervallo IRD 0-1000 mg O<sub>2</sub> kg SV<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, due sono i valori d'IRD da considerare con maggior attenzione: 500 e 1000, ovvero i valori da sempre indicati quali indice di media ed elevata stabilità biologica. A tali valori corrispondono valori di OU pari a 300-400 e 1000 OU (Figura 6). Tali valori appaiono in linea con i limiti di unità odorimetriche ritenuti accettabili per gli impianti di trattamento biologico (300 OU per gli impianti di trattamento biologico in Italia e 500 OU per gli impianti tedeschi).

Il contenuto in microrganismi patogeni è un parametro estremamente importante nella valutazione

della qualità del prodotto dal punto di vista igienico sanitario per un sicuro utilizzo in agricoltura o per l'allocazione delle frazioni organiche stabilizzate in discarica. Con particolare riferimento alla qualità biologica del compost, l'integrazione della Legge 748/84 col DM 27/03/1998 (Modifica Allegato 1C) ha introdotto la determinazione, ed i relativi valori limite, del contenuto di microrganismi ritenuti potenzialmente patogeni o indicatori di contaminazione fecale: presenza/assenza di Salmonella, contenuto di Streptococchi fecali e di Enterobacteriaceae totali.

Circa la qualità dei biostabilizzati, purtroppo non esiste nulla quale riferimento, se non il vecchio DCI 27/07/84, il quale prevede l'assenza della salmonella.

Un recente studio (D'Imporzano e Adani, 2005) evidenzia come la gestione del processo di trattamento può influenzare direttamente il contenuto di Enterobacteriaceae nel compost maturo.

In condizioni non ottimali di processo, la stabilità biologica del rifiuto trattato viene meno e tale condizione si riflette anche sulla qualità del compost. In tale situazione, infatti, il compost presenta ancora una elevata attività biologica (elevati IRD), condizione tale, da consentire la ricolonizzazione ed in particolare la mancata riduzione del contenuto in Enterobacteriaceae, che nonostante i suoi limiti analitici, rimane sempre un parametro di legge.

Si osserva quindi che la stabilità biologica, e quindi la determinazione dell'indice di respirazione dinamico può aiutare a meglio comprendere il grado di qualità del compost, in quanto elevate stabilità biologiche sono correlabili direttamente ad un basso contenuto di Enterobacteriaceae (Figura 10).

Un compost o una FOS che presenta elevati valori di IRD (e.g. > 3000 mg O<sub>2</sub> kg SV<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) spesso è positivo al test della salmonella. Ciò è più evidente quando condizioni anaerobiche o semianaerobiche si instaurano durante il processo. Valori di IRD bassi, garantiscono, al contrario, l'assenza di salmonella.

A livello nazionale, la Legge 748/84 riporta i parametri di qualità ed i relativi limiti che il compost deve rispettare per essere commercializzato ed utilizzato in agricoltura. Questi parametri, definiscono la qualità del compost dal punto di vista dell'impatto sulla pianta, sul suolo sull'ambiente e sull'igiene pubblica. Tra questi parametri non è contemplata la stabilità biologica, cioè, non viene considerato nessun parametro in grado di descrivere lo stato di avanzamento del processo stesso. Per assurdo, le biomasse non compostate potrebbero, meglio delle compostate, rispettare i parametri di Legge.

Ad esempio, recenti studi (Tambone e Adani, 2004) dimostrano che la stabilità biologica è direttamente correlata con le principali caratteristiche chimiche del compost.

In particolare, i parametri Carbonio organico

(Corg), azoto organico (Norg), contenuto in acidi umici e fulvici e pH presentano una variazione direttamente correlabile con la stabilità biologica. Da dati in possesso, si evince che per valori di stabilità biologica bassa (processo mal condotto) si ottengono elevati contenuti di Carbonio e ancora, che per valori di stabilità biologica elevati si riscontrano, paradossal-

mente, bassi contenuti di acidi umici e fulvici.

Vi è da concludere, quindi, che la sola determinazione dei parametri di Legge non è garanzia di qualità del prodotto in quanto nulla ci dice circa il processo. A tal fine sarebbe bene che la legge 748/84 fosse integrata col parametro stabilità biologica, come, peraltro, ormai previsto in molte regioni italiane.

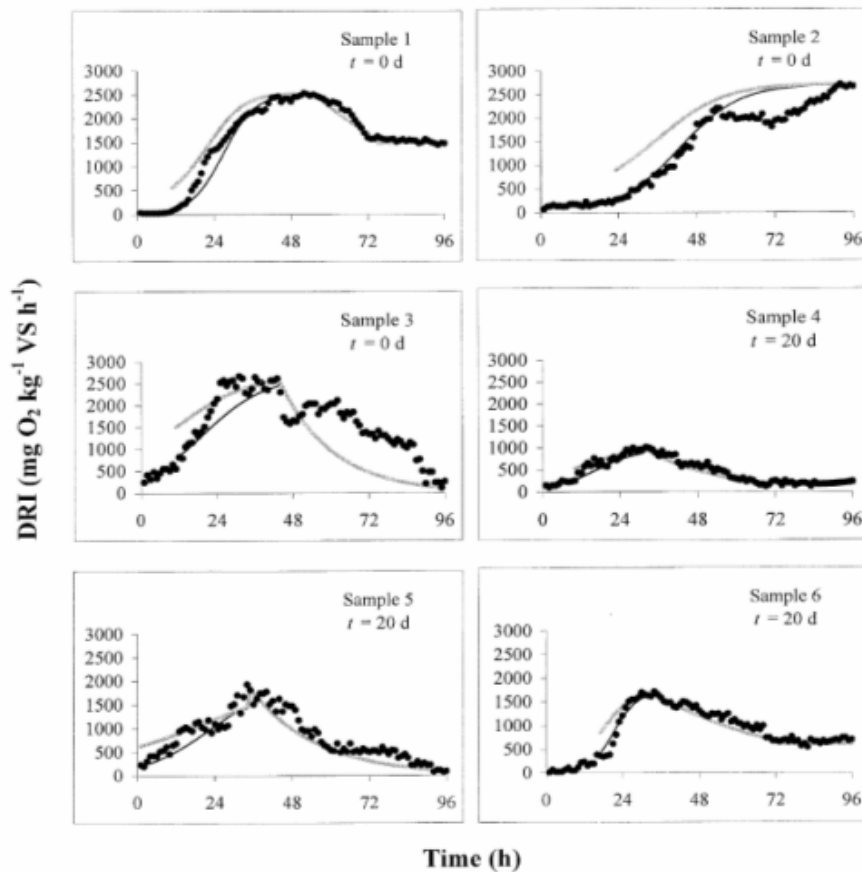


Figura 1. Andamento dell'IRD misurato e calcolato con l'equazione 1 per alcuni processi biologici (Adani et al., 2004)

Figure 1. DRI trend for different processes measured and calculated with the equation 1 (see text)

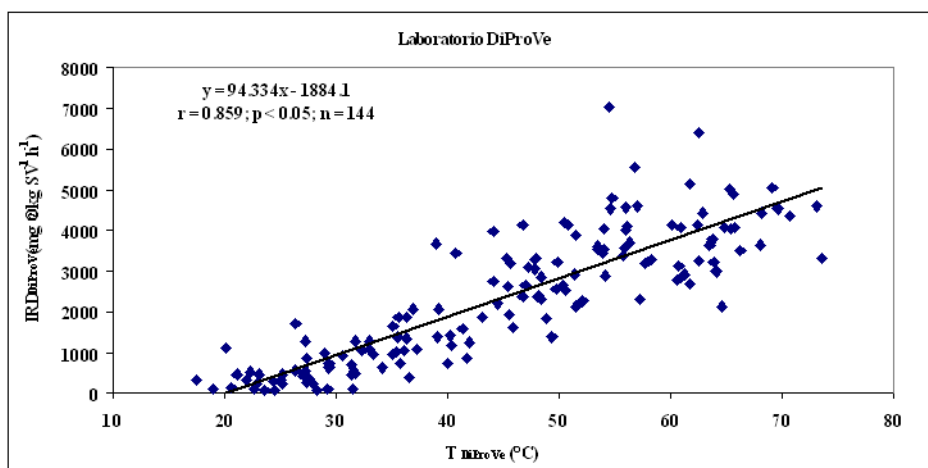
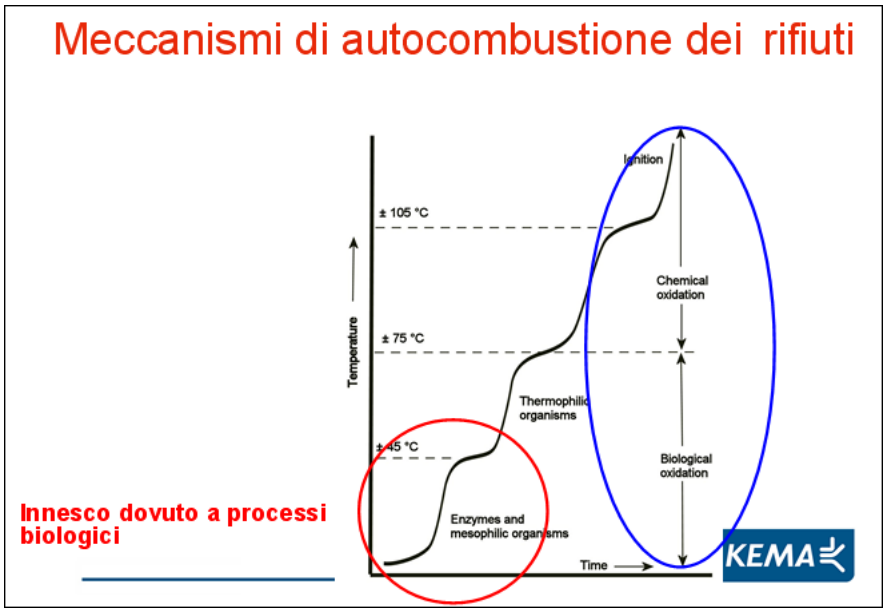


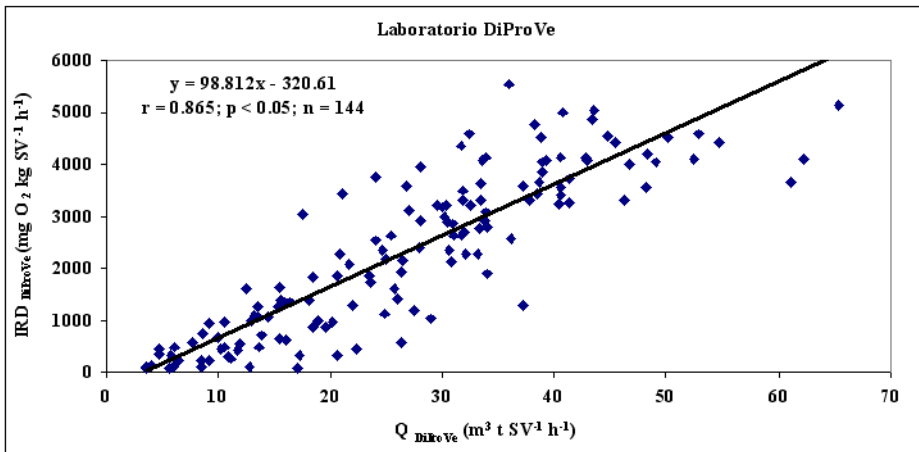
Figura 2. Correlazione Temperatura vs IRD ottenuta durante la misura dell'IRD

Figure 2. Temperature vs DRI correlation



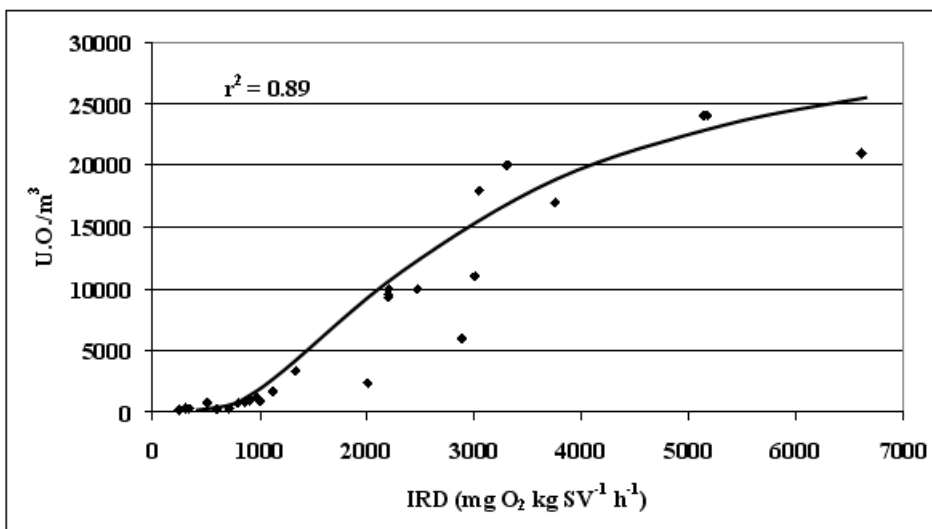
**Figura 3.** Contributo dei processi fisici, biologici e chimici ai fenomeni di self-heating di un rifiuto derivato da combustibili (da Kema, 2005, non pubblicato)

**Figure 3.** The contribution of physical, biological and chemical processes to the self-heating of waste (da Kema, 2005, non pubblicato)



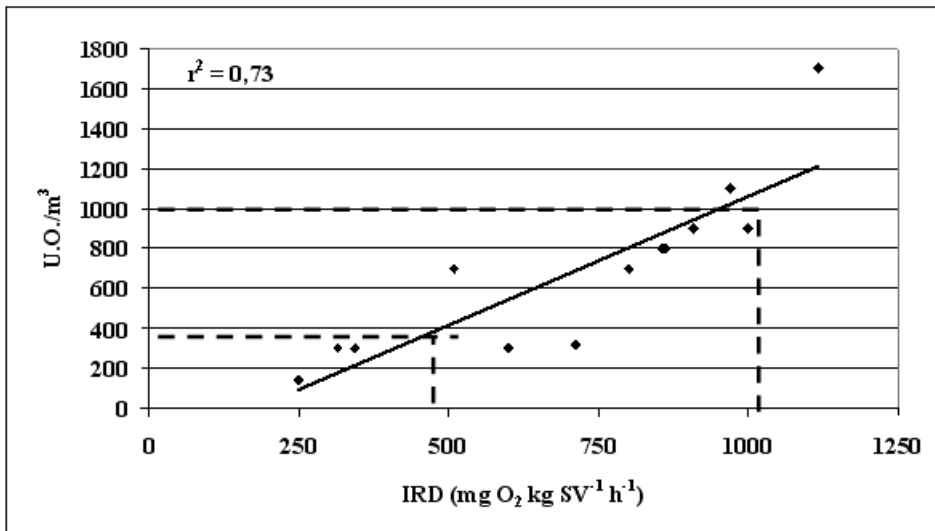
**Figura 4.** Correlazione Q (portate d'aria) vs IRD (Adani et al., 2004) durante la misura dell'IRD. La portata d'aria è tale da mantenere condizioni ottimali di ossigenazione nel free-air space della biomassa ( $O_2 = 140 \text{ mL L}^{-1}$ )

**Figure 4.** DRI vs airflow-rate correlation ( $O_2 = 140 \text{ mL L}^{-1}$ )



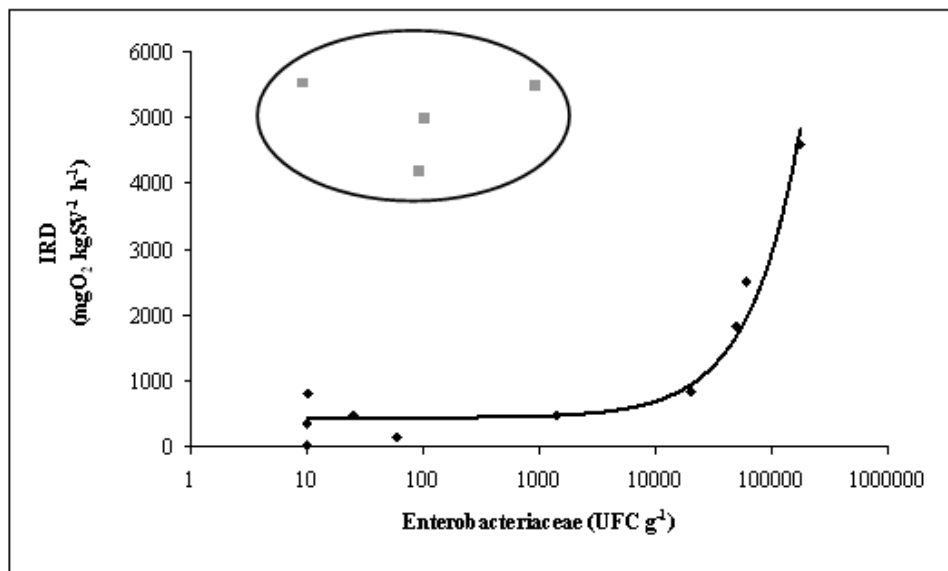
**Figura 5.** Correlazione tra IRD e U.O. (28 misure)

**Figure 5.** Correlation between DRI and U.O. (28 measures)



**Figura 6.** Correlazione tra IRD e U.O. (13 misure)

**Figure 6.** Correlation between DRI and U.O. (13 measures)



**Figura 7.** Correlazione tra i valori di IRD ( $\text{mg O}_2 \text{ kgSV}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) e i valori di Enterobacteriaceae totali ( $\text{UFC/g}$ ) misurati sui compost (i dati cerchiati indicano compost con  $\text{pH} < 5.5$ )

**Figure 7.** Correlation between DRI ( $\text{mg O}_2 \text{ kgVS}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) and Enterobacteriaceae ( $\text{CFU/g}$ ) for compost (values in the circle represent compost with  $\text{pH} < 5.5$ )

## Bibliografia

- Adani e Scaglia (2004). IRD: gruppo di lavoro interlaboratorio. <http://users.unimi.it/~ricicla/ricicla.htm>.
- Adani F., Confalonieri R., Tambone, F. (2004). Dynamic respiration index as descriptor of the biological stability of organic wastes, *Journal Environmental Quality*, 33: 1866-1876.
- Adani F., Favoino F., Scaglia B. (2004). I processi di biostabilizzazione dei rifiuti urbani. In: *I processi aerobici per il trattamento dei rifiuti urbani* (Adani F. Ed.). *I processi aerobici allo stato solido*. Quaderni Ingegneria Ambientale, CIPA, Milano, 40: 47-64
- ASTM. 1996. Standard test method for determining the

stability of compost by measuring oxygen consumption. American Society for testing and materials , D 5975- 96.

PrEn 15590. Solid recovered fuels: Determination of current rate of potential microbial self-heating using the real dynamic respiration index: CEN/TC 343 (approved).

Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Provincie Autonome, (2003). Documento interregionale per la predisposizione entro il 24 Marzo 2004 del programma di riduzione dei rifiuti biodegradabili da smaltire in discarica ai sensi dell'art. 5 del D. lgs N°36/03.

D'Imporzano G., Adani F. (2005). Qualità del compost:

- influenza del grado di stabilità biologica sul contenuto di enterobatteriacee totali. *Rifiuti Solidi*, XIX (6): 371-373.
- ISO, 1994. ISO 5725-2, Accuracy (trueness and precision) of measurements methods and results, - Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method, pp. 42.
- Lasaridi, K.E., and E.D. Stentiford. 1996. Respirometric techniques in the context of compost stability assessment: Principles and practice In *The science of composting. Part 1*. M. de Bertoldi *et al.* ed., Blackie Academic & Professional, London), pp. 567-576.
- Regione Lombardia (2003). "Linee guida relative alla costruzione e all'esercizio degli impianti di produzione di compost". Revoca della D.G.R. 16 luglio 1999, n. 44263, BURL 1° supplemento straordinario al n. 20, 13 maggio 2003, 10.
- Tambone F., Adani F. (2003). Stabilità biologica, legge 748/84 e qualità dei compost. *Rifiuti solidi*, vol. XVII: n. 6: 1-5.
- The U.S. Composting Council, 1997. Respirometry. In: Test methods for the examination of composting and compost (Leege, P.B. and Thompson, W.H. eds., the Composting Council, USA) 9-165/9-194.
- Ubbiali C., e Adani F., 2005. la misura della stabilità biologica in impianti di trattamento per la produzione di compost e di biostabilizzato.. In: *La produzione di ammendante compostato in italia*. (M. Centemero ed, CIC, Bologna), pp. 113-136.
- UNI (2006). "Determinazione della Stabilità Biologica di Rifiuti e Compost mediante l'Indice di Respirazione Dinamico" (Metodo Di.Pro.Ve.), UNI/TS 11184.